



⑲ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Patentschrift  
⑩ DE 37 04 180 C 2

⑤① Int. Cl.<sup>8</sup>:  
H 01 Q 1/48

②① Aktenzeichen: P 37 04 180.0-35  
②② Anmeldetag: 11. 2. 87  
④③ Offenlegungstag: 25. 8. 88  
④⑤ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 27. 7. 95

DE 37 04 180 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:

Daimler-Benz Aerospace Aktiengesellschaft, 80804  
München, DE

⑦② Erfinder:

Eßmann, Albert, Dr., 2300 Kiel, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 36 11 077 A1  
US 39 93 989

⑥④ Antennenanordnung zur Abstrahlung von Infralängstwellen

⑤⑦ Um bei Antennenanordnungen zur Abstrahlung von Infralängstwellen den Aufbau hoher Spannungen auf dem Antennenleiter gegen Erde zu vermeiden, werden über die Länge des Leiters verteilt mehrere Teilkapazitäten zur abschnittswise Kompensation des induktiven Blindwiderstands der Antennenanordnung eingefügt. Für mobile Anlagen sind die Teilkapazitäten vorzugsweise über Verbindungsmittel mit Zugentlastung lösbar mit den einzelnen Abschnitten des Antennenleiters verbunden.

DE 37 04 180 C 2

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Antennenanordnung zur Abstrahlung von Infralängstwellen (ELF) nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1. Eine solche Antennenanordnung ist bereits aus M. L. Burrows: "ELF Communications Antennas" (Peter Peregrinus Ltd., 1978), Chap. 3. Seiten 74—90 bekannt.

Wie dort näher beschrieben wird, bestehen Antennen zur Abstrahlung von Infralängstwellen-Signalen üblicherweise aus einem oder mehreren isolierten Leitern, die auf der Erdoberfläche ausgelegt oder oberirdisch an geeigneten Stützen aufgehängt sind. Auf See werden auf der Wasseroberfläche schwimmende Kabel verwendet. Ein Ende des oder der Leiter ist durch geeignete Erder unmittelbar mit dem Potential des Erdbodens (bzw. des Seewassers) verbunden. Zwischen dem anderen Ende und einem zweiten Erder wird die Sendeenergie eingespeist. Insbesondere bei Landanlagen kann die Einspeisung auch an einer beliebigen anderen Stelle des Antennenleiters, vorzugsweise in der Mittel zwischen den Erdern, erfolgen.

Der Antennenstrom fließt vom Speisungspunkt über den Antennenleiter zum Erder, von dort durch den Erdboden oder das Seewasser zum zweiten Erder und von dort gegebenenfalls über den entsprechenden Antennenteil zurück zum Speisungspunkt. Da selbst Antennen von 10 bis 20 km Länge kurz gegenüber der Freiraumwellenlänge sind, herrscht auf der Antenne überall die gleiche Stromstärke. Die Anordnung stellt eine große Leiterschleife dar. Der am Speisungspunkt gemessene Eingangswiderstand besteht aus einem induktiven Blindanteil  $j\omega L$  und einem Wirkanteil  $R$ , der durch den Leiterwiderstand, die Übergangswiderstände der Erder und die Wirbelstromverluste im Erdboden oder Seewasser gegeben ist.

Wie sowohl die Theorie als auch praktische Messungen zeigen, ist der Blindanteil im interessierenden Frequenzbereich, z. B. Trägerfrequenzen zwischen 300 und 1200 Hz stets wesentlich größer als der Wirkanteil. Damit der Sender nicht mit einer hohen Blindleistung belastet wird, kompensiert man den Blindanteil am Speisungspunkt durch eine Längskapazität, so daß der Senderausgang mit einem reinen Wirkwiderstand belastet ist. Zusammen mit dieser Längskapazität stellt die Antenne einen auf die Trägerfrequenz abgestimmten Reihenschwingkreis mit einer Güte  $> 1$  dar. Es entsteht dementsprechend eine Spannungsaufschaukelung. Bei Sendeleistungen etwa zwischen 10 und 100 kW können an der Schnittstelle Längskapazität/Antenne und auf dem anschließenden Antennenstück sehr hohe Spannungen gegen Erde auftreten. Um Durch- und Überschläge zu vermeiden und das Bedienungspersonal zu schützen sind dann aufwendige und kostspielige Maßnahmen erforderlich. Sie betreffen den Aufbau und die Isolation der ausgelegten Antenne, die Längskapazität, die zugehörigen Verbindungselemente und, sofern mehrere Betriebsfrequenzen verwendet werden, die Schaltgeräte zum Wechseln der Längskapazitäten. Besonders kritisch sind die Verhältnisse bei mobilen Anlagen mit am Boden ausgelegten oder auf dem Wasser schwimmenden Kabeln als Antennen, weil hier auch der Schutz unbeteiligter Personen, die sich der Antenne zufällig nähern, gewährleistet sein muß.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, bei einer Antennenanordnung der im Oberbegriff des Patentanspruchs 1 angegebenen Art die Gefahren durch Hochspannung zu beseitigen oder zumindest wesentlich zu verringern.

Die Erfindung ist im Patentanspruch 1 beschrieben. Die Unteransprüche enthalten vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung.

Die erfindungsgemäße Antennenanordnung zeichnet sich vor allem durch die selbst bei großen Sendeleistungen am Senderausgang und auf dem Antennenleiter nur mäßigen Spannungen gegen Erde auf, so daß kaum eine Gefahr für Personen oder auch die Anlage selbst besteht. Darüber hinaus ergeben sich aber weitere wesentliche Vorteile bezüglich des materiellen Aufwands einer evtl. erforderlichen Mobilität der Sendeanlage:

Anstelle von Leitungen, Kapazitäten, Schaltern und Verbindungselementen der Mittelspannungstechnik können Bauelemente der Niederspannungstechnik eingesetzt werden. Da letztere wesentlich kleiner und leichter sind und teilweise einen einfacheren inneren Aufbau haben, werden Volumen und Gewicht gespart. Das ist insbesondere bei mobilen Anlagen sehr wesentlich.

Die gegenüber Mittelspannungskabeln vergleichsweise dünnen und flexiblen Niederspannungs-Antennenkabel lassen sich zügiger auslegen und erfordern einen geringeren Aufwand für Transport und Lagerung. Das gleiche gilt für das Wiederaufnehmen einer Antenne. Dieser Minderaufwand kommt ebenfalls der Mobilität zugute.

Die Erfindung ist nachfolgend an Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Abbildungen noch veranschaulicht. Dabei zeigt

Fig. 1 den prinzipiellen Aufbau einer erfindungsgemäßen Antennenanordnung

Fig. 2 die Anordnung nach Fig. 1 mit Ersatzschaltbildern für die einzelnen Abschnitte

Fig. 3 eine weitere Anordnung mit Ersatzschaltbildern.

In Fig. 1 stellt 1 den Sender dar, dessen Ausgänge 2 und 3 mit dem Antenneneingang und dem Erder 4 verbunden sind. Das andere Ende des Antennenleiters 12 ist über den Erder 6 geerdet. Unmittelbar auf 6 folgt die Kapazität 8, die so gewählt ist, daß sie den induktiven Blindwiderstand des Antennenabschnitts zwischen 8 und der folgenden Kapazität 11 kompensiert. Entsprechend kompensiert 11 den Blindwiderstand des Antennenabschnitts 11—14 usw. Letztlich kompensiert die Kapazität 15 den Blindwiderstand des Antennenabschnitts 15—2, also des sendernächsten Abschnitts.

Fig. 2 zeigt die Ersatzschaltung der Anordnung. 5 und 7 sind die Übergangswiderstände der Erder 4 und 6. 9, 12 und 16 stellen die Wirkwiderstände (ohmsche Leistungswiderstände, Widerstände entsprechend Wirbelstromverlusten im Erdboden, etc.), 10, 13 und 17 die Blindwiderstände der Antennenabschnitte 8—11, 11—14 und 15—2 dar. Wird der Leiterkreis vom Senderstrom durchflossen, so steht am senderseitigen Anschluß von 8 die Vektorsumme aus den Spannungsabfällen an 7 und 8 gegen Erde, am erderseitigen Anschluß von 11 dagegen die Summe der Spannungsabfälle an 7 und 9, weil die Blindspannung an 10 durch die entgegengesetzte an 8 kompensiert wird. Sinngemäß das Gleiche gilt für den folgenden Abschnitt, wo die Blindspannung an 11

diejenige an 13 kompensiert usw. Letztlich kompensiert im sendernächsten Abschnitt die Blindspannung an 15 diejenige an 17. Die Spannung des Senderausgangs 2 gegen Erde entspricht der Summe der Spannungen an den Erdwiderständen 5 und 7 und an den Wirkwiderständen aller Antennenabschnitte. Die höchste Spannung gegen Erde im ganzen System tritt am senderseitigen Anschluß von 15 auf. Sie entspricht der Vektorsumme aus der Summe der Spannungsabfälle an allen Wirkwiderständen mit Ausnahme von 16 aber einschließlich der Erdwiderstände und dem Spannungsabfall am Blindwiderstand 17. Quantitativ werden die Verhältnisse durch die folgenden Gleichungen (1) und (2) beschrieben. Im Interesse der Übersichtlichkeit ist dabei angenommen, daß die  $n$  Antennenabschnitte alle gleich sind und ihre Ersatzschaltungen je aus dem Wirkwiderstand  $R$  und Blindwiderstand  $j\omega L$  bestehen. Auch die Erdwiderstände sollen gleich sein und je  $R_E$  betragen. Wird die Antenne mit dem Strom  $I_S$  gespeist, so beträgt die höchste Spannung gegen Erde bei Anwendung der Erfindung

$$U_{\max 1} = I_S \cdot \sqrt{(\omega L)^2 + ((n-1) \cdot R + 2 \cdot R_E)^2} \quad (1)$$

bei Anwendung der bekannten Kompensation durch eine Längskapazität am Eingang aber

$$U_{\max 2} = I_S \cdot \sqrt{(n \cdot \omega L)^2 + (n \cdot R + 2 \cdot R_E)^2} \quad (2)$$

Da  $\omega L$  im üblichen Frequenzbereich 5- bis 8mal größer ist als  $R$ , ist  $U_{\max 1}$  wesentlich kleiner als  $U_{\max 2}$ . Dabei ist zu berücksichtigen, daß  $U_{\max 2}$  nicht nur an der Schnittstelle Kapazität/Antennenkabel herrscht, sondern auch auf dem anschließenden Antennenteil. Die Spannung gegen Erde nimmt dann etwa gleichmäßig mit zunehmendem Abstand ab.

Die Spannung gegen Erde läßt sich in an sich bekannter Weise weiter herabsetzen, wenn die Einspeisung des Senderstromes nicht an einem Antennenende, sondern im Verlauf der Antenne, vorzugsweise in deren Mitte, erfolgt. Fig. 3 zeigt die Ersatzschaltung. Die höchsten Spannungen treten aus den vorher beschriebenen Gründen an den sendernächsten Kapazitäten senderseitig auf. Besteht die Antenne wieder aus  $n$  gleichen Abschnitten mit Kapazitäten, so ergibt sich die höchste Spannung gegen Erde aus (3)

$$U_{\max 3} = I_S \cdot \sqrt{(\omega L)^2 + ((n/2 - 1) \cdot R + R_E)^2} \quad (3)$$

Da  $\omega L$ , wie erwähnt, in der Regel größer als  $R$  ist, ist  $U_{\max 3}$  größer als  $U_{\max 1}/2$ .

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform werden die Teilkapazitäten so bemessen, daß die Spannungsbeiträge am Antenneneingang und am eingangsseitigen Anschluß des eingangsnächsten Kondensators gleich sind. Bei  $n$  gleichen Teilabschnitten, die jeweils einen Wirkwiderstand  $R$  und einen Blindwiderstand  $\omega L$  aufweisen sollen, ergibt sich der günstigste Wert für die Teilkapazitäten zu

$$C = \frac{2L}{n \cdot (2n-1) \cdot R^2 + 2n \cdot R \cdot R_E + n \cdot (2n-1) \cdot \omega^2 \cdot L^2} \quad (4)$$

Für diese Ausführungsform ergeben sich die geringsten Spannungen gegen Erde auf den einzelnen Antennenabschnitten.

Bei der praktischen Verwirklichung der Erfindung ist noch die Betriebsweise der Infralängswellen-Antenne zu berücksichtigen. Wird sie innerhalb eines begrenzten Frequenzbandes unter definierten Umweltbedingungen eingesetzt, so können die Kapazitäten fest in ihren Verlauf eingebaut werden. Zweckmäßig werden gestreckte biegsame Umhüllungen verwendet, die mehrere Kondensatorwickel hintereinander enthalten. Die Kapazitäten können dann gemeinsam mit dem Antennenkabel auf einer Kabeltrommel gelagert und von dort ausgebracht werden. Da die Kompensation nur bei einer Frequenz optimal ist, wird hier und auch bei den folgenden Anordnungen zwischen Senderausgang und Antenneneingang ein zusätzliches, veränderlich einstellbares Netzwerk angeordnet, mit dem sich der restliche Blindwiderstand kompensieren läßt.

Soll die Antenne in einem breiteren Frequenzband arbeiten, so müssen die Kapazitäten an die jeweilige Arbeitsfrequenz angepaßt werden. Bei mehreren Kilometern Länge läßt sich das Antennenkabel sowieso nicht auf einer Trommel unterbringen. Es werden daher Stücke mit der gewählten Abschnittslänge aufgetrommelt. Die Kapazitäten werden in wasserdichten Gehäusen untergebracht, beim Seeinsatz in Schwimmkörpern. Die Enden der Kabelabschnitte und die Gehäuse werden mit Steckvorrichtungen versehen, so daß sie beim Auslegen ohne wesentlichen Zeitaufwand in den Antennenverlauf eingefügt werden können. Die Steckvorrichtungen oder eine zusätzliche Einrichtung dienen auch der Zugentlastung. Jedes Gehäuse kann eine oder mehrere Kapazitäten enthalten. Im ersten Fall muß die Betriebsfrequenz beim Auslegen der Antenne bekannt sein, so daß die entsprechenden Kapazitätswerte gesteckt werden können. Im zweiten lassen sich die Kapazitäten durch Umschaltung von Hand oder per Fernbedienung über das Antennenkabel auf den für die betreffende Betriebsfre-

quenz erforderlichen Wert bringen. Wie im vorigen Absatz erwähnt, ist keine exakte Kompensation des Blindwiderstands jedes Antennenabschnitts erforderlich. Die Kapazitäten in den Gehäusen können aus genormten Werten, z. B. der IEC-Reihe zusammengestellt werden. Die Kompensation des restlichen Blindwiderstands wird von dem zusätzlichen Kompensationsnetzwerk übernommen.

#### Patentansprüche

1. Antennenanordnung zur Abstrahlung von Infralängswellen mit einem gestreckten, an beiden Enden mit Erdpotential verbundenen und im übrigen Verlauf gegen Erde isolierten Antennenleiter, mit einem Sender zur Erregung eines Antennenstroms in dem Leiter und mit einer Längskapazität im Antennenstromkreis zur Kompensation des induktiven Blindwiderstands der Antennenanordnung, **dadurch gekennzeichnet**, daß als Längskapazität mehrere Teilkapazitäten über die Länge des Leiters verteilt angeordnet sind.
2. Antennenanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Teilkapazitäten so bemessen sind, daß sie die induktiven Blindwiderstände der durch die Teilkapazitäten getrennten Leiterabschnitte abschnittsweise kompensieren.
3. Antennenanordnung nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Teilkapazitäten annähernd äquidistant über die Länge des Leiters verteilt angeordnet und gleich groß bemessen sind.
4. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen Senderausgang und Antennenanschluß zusätzlich ein veränderlich einstellbares Kompensationsnetzwerk angeordnet ist.
5. Antennenanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Teilkapazitäten durch Schaltmittel auf mehrere diskrete Werte umschaltbar sind.
6. Antennenanordnung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Schaltmittel durch Fernbedienung betätigbar sind.
7. Antennenanordnung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Fernbedienung der Schaltmittel elektrisch über den Antennenleiter erfolgt.
8. Antennenanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Teilkapazitäten zumindest einseitig über leicht lösbare Verbindungsmittel mit den Leiterabschnitten verbindbar sind.
9. Antennenanordnung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungsmittel Steckvorrichtungen aufweisen.
10. Antennenanordnung nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungsmittel zugentlastende Einrichtungen umfassen.
11. Antennenanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Teilkapazitäten in wasserdichten Gehäusen untergebracht sind.
12. Antennenanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß Bauelemente der Niederspannungstechnik eingesetzt sind.
13. Antennenanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Einspeisung der Sendeenergie an beliebiger Stelle, vorzugsweise in der Mitte des Antennenleiters, erfolgt.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

This Page Blank (uspr

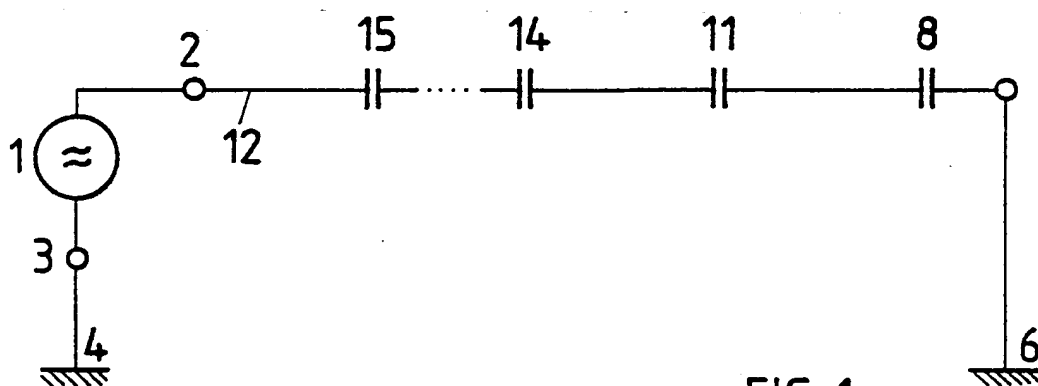


FIG. 1

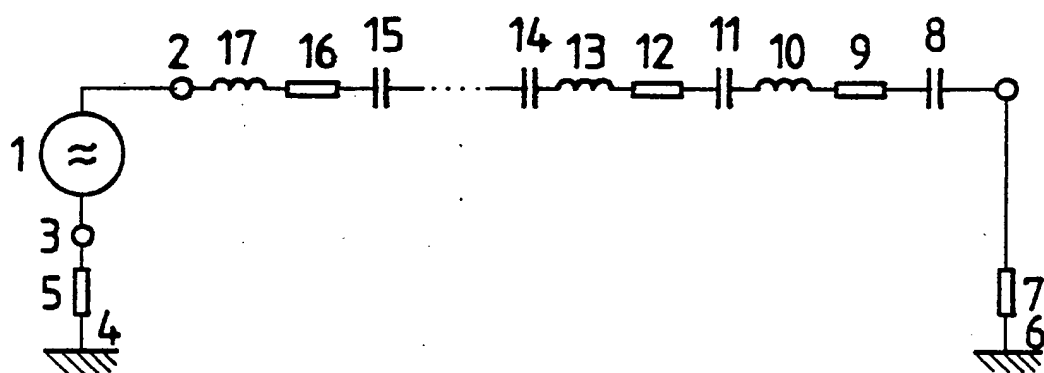


FIG. 2

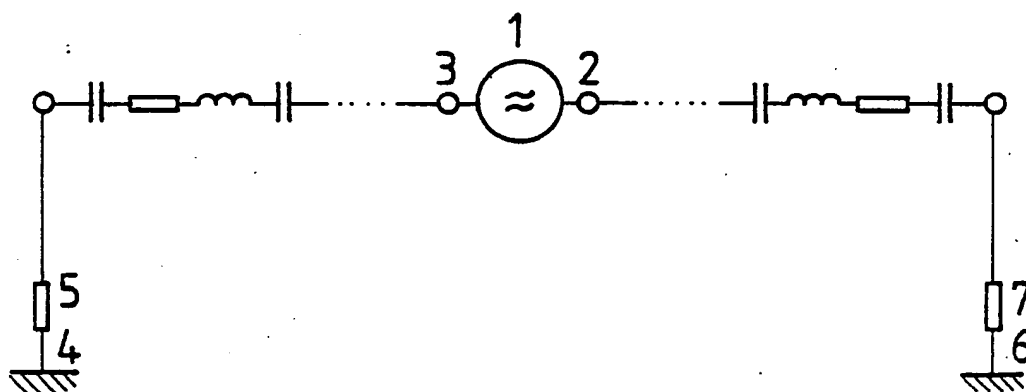


FIG. 3